

Fizika e Grimcave Elementare Pjesa I

Themelet e Fizikes se Grimcave Elementare

Ervin Kafexhiu

Tetor 2025

Master Shkencore II Fizike

Hyrje dhe të dhëna për kursin

Historiku i zbulimeve të grimcave

Aplikimet e Fizikës së Grimcave

Njësitë natyrore

Transformimet, Simetritë dhe Ligjet e Ruajtjes

Numrat Kuantike të Grimcave & Klasifikimi i Grimcave

Hyrje dhe të dhëna për kursin

Struktura

- Kursi përbëhet nga: **Leksion** (2h, *fakultativ*) + **Seminare** (2h, *detyrueshme*)
- **ECTS: 5**
- **Literatura kryesore:** Griffiths + PDG (Reviews)
- Pjesëmarrja: 15%, **Kontrollet e ndërmjetme:** 25%, **Provimi final:** 60%.
- **Njohuri paraprake të rekomanduara:**
 - Analizë komplekse
 - Algjebër lineare
 - Mekanikë kuantike e avancuar

Pjesa I: Hyrje në Fizikën e Grmcave Elementare

- ▶ Historiku.
- ▶ Simetritë dhe ligjet e ruajtjes; Teorema e Noether-it.
- ▶ Klasifikimi i grmcave elementare.
- ▶ Parimet bazë të Mekanikës Kuantike Relativiste dhe Teorisë Kuantike të Fushës.
- ▶ Modeli Standard i grmcave elementare.

Pjesa II: Diagramet e Feynman-it dhe aplikime

- ▶ Rregullat bazë; seksionet e tërthorta; shpejtësia e zbërthimit.
- ▶ Elektrodinamika Kuantike (QED).
- ▶ Bashkëveprimi i dobët.
- ▶ Kromodinamika Kuantike (QCD).

Vleresimi

Kursi ka 100 pikë:

- **Pjesëmarrja dhe aktivizimi: 15%**
- **Kontrolle të ndërmjetme (midterm/projekt): 25%**
- **Provimi final: 60%**

Projekte Potenciale

- Cloud Chamber – Detektojmë dhe identifikojmë gjurmët që lënë grimcat.
- NaI(Tl) spektroskopi γ kalibrim, fotopeak/Compton.
- Teleskop myonesh (2-3 pllaka shintiluese) koinçidencë, $I(\theta)$.
- Analizë të dhënash reale eksperimentale (psh nga LHC).
- etj...

Hyrje në fizikën e grimcave

- **Introduction to Elementary Particle Physics**, D. J. Griffiths (2008), edition 2.
- **Elementary Particle Physics (an intuitive introduction)**, A. J. Larkoski (2019).
- **Introduction to High Energy Physics**, D. H. Perkins (2000), edition 4.
- **Particle Data Group Reviews (PDG)**.

Hyrje në Teorinë Kuantike të Fushës

- **An Introduction to Quantum Field Theory**, M. E. Peskin & D. V. Schroeder (1995).
- **Field Quantization**, W. Greiner & J. Reinhardt (1996).
- **Teoritë kalibruese të fizikës së grimcave elementare**, A. Boriçi & P. Rexhepi (2010).

- **Particle Data Group** pdg.lbl.gov: bazë e të dhënave për të gjitha grimcat e njohura.
- **NIST / CODATA** nist.gov/pml/productsservices/physical-reference-data: vlera të përditësuara të madhësive fizike (rekomandimet CODATA).

Burime të tjera do ti përmendim sipas nevojës gjatë kursit.

Historiku i zbulimeve të grimcave

Pse fizika e grimcave?

Duam të kuptojmë përbërjen e materies dhe si funksionon bota në nivel nënatomik! Këtë e studion fizika e grimcave elementare. Kjo është një nga qëllimet e fizikës fundamentale!

Fizika Grimcave = Fizika e Energjive të Larta

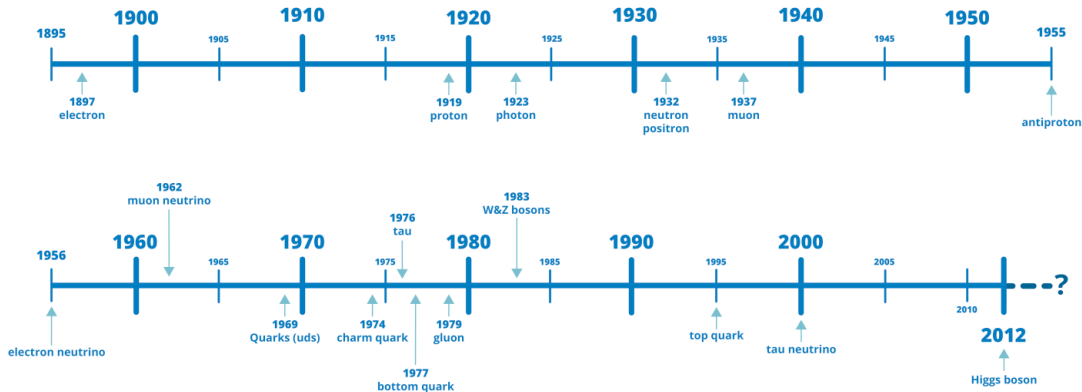
Fizika e Grimcave është sot sinonim me Fizikën e Energjive të Larta. Arsyeja lidhet me parimin e papërcaktueshmërisë së Heisenbergut: $\Delta x \Delta p \gtrsim \hbar$.

Pra energjitë/impulset e mëdha mundësojnë studimin e zonave të vogla!

Kronologjia e zbulimeve të grimcave nënatomike



Key particle discoveries



Modeli atomik

- **1897** – *Thomson*: zbulon **elektronin** e^- . Atomi përmban elektrone të përziera me ngarkesën pozitive (si kek me fruta).
- **1911** – *Rutherford*: atomi është kryesisht hapësirë bosh; ngarkesa pozitive dhe masa janë të përqendruara në një bërthamë shumë të vogël.
- **1913** – *Bohr*: modeli i parë kuantik i atomit. Elektronet rrotullohen në orbita rrethore të kuantizuara, $L = n \hbar$.
- **1917** – *Rutherford*: provon ekzistencën e protonit nga reaksioni bërthamor $\alpha + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^{17}\text{O} + p$. Protonit i ishte *postuluar* që në 1815 nga masat atomike.
- **1932** – *Chadwick*: zbulon **neutronin** nga $\alpha + {}^9\text{Be} \rightarrow {}^{12}\text{C} + n$. Bërthama përmban protone dhe neutrone.

Fotoni (γ)

- **1900** – *Planck*: shpjegon spektrin e trupit të zi.
- **1905** – *Einstein*: shpjegon efektin fotoelektrik. Rrezatimi elektromagnetik është thelbësisht i kuantizuar. Teoria u prit fillimisht me skepticizëm.
- **1916** – *Millikan*: vërteton eksperimentalisht teorinë e Einstein-it.
- **1923** – *Compton*: zbulon efektin Compton, $\gamma + e \rightarrow \gamma + e$, thelbësisht kuantik.

Mezonet

- **1934** – *Yukawa*: parashikon që bashkëveprimi bërthamor përshkruhet nga shkëmbimi i pioneve (π -mezonet, kuantet e fushës).
- **1937** – *Anderson & Neddermeyer*: kërkojnë pionet në rrezatimin kozmik, por gjejnë grimca që bashkëveprojnë dobët: **muonet** (μ).
- **1947** – *Powell*: zbulon si pionet, ashtu edhe muonet, në analizën e fotografive me emulsion nga rrezatimi kozmik.

Mezonet luajnë rol themelor në bashkëveprimet hadronike në gjithë universin. Njohuri të sakta për prodhimin e tyre kanë interes fundamental në astrofizikë.

Antimateria

- **1927** – *Dirac* interpreton energjitë “negative” të zgjidhjeve të ekuacioneve të Klein–Gordon si nivele energjetike të “vrimeve” (pozitronet) në detin e pafund të elektroneve (deti i Dirac-it).
- **1931** – *Anderson*: zbulon pozitronin e^+ në rrezatimin kozmik.
- **1933** – *Blackett & Occhialini*: regjistrojnë krijimin dhe zhdukjen e çiftit e^+e^- në dhomë mjegulle (Cloud Chamber).
- **1950** – *Feynman & Stückelberg*: rishpjegojnë “energjitë negative” si zgjidhje me energji pozitive të *antigrimeve*: lindja moderne e QED.

Megjithë simetrinë mes materies dhe antimateries në nivel nënatomik, antimateria në univers është shumë e pakët. E vërejmë në rrezatimin kozmik (e^+ dhe \bar{p}) dhe në akseleratorë.

Neutrinot (ν)

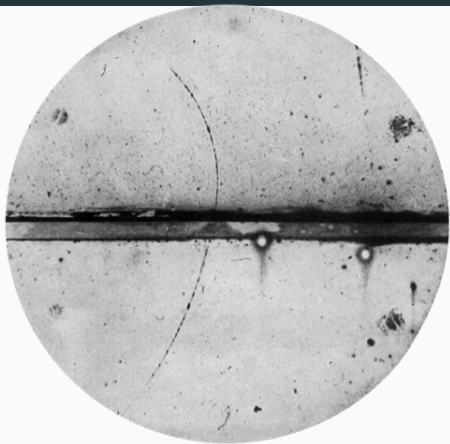
- **1930** – *Pauli & Fermi* propozojnë që neutrinot prodhohen në zbërthimet beta (me $m_\nu = 0$ në modelin fillestar).
- **1934** – *Fermi*: formulon teorinë e parë kuantike të bashkëveprimit të dobët.
- **1956** – *Cowan & Reines*: vëzhgojnë zbërthimin beta invers.
- **1962** – *Lederman & Schwarz*: tregojnë se $\nu_e \neq \nu_\mu$; ruhet numri leptonik.
- **1965** – vëzhgohen neutrinot atmosferike.
- **1968** – *Davis & Bahcall*: vëzhgojnë neutrinot diellore.
- **1987** – Vëzhgohen neutrinot e para nga supernova SN 1987A nis “astronomia e neutrinove”.

Zbulimi i strukturës bërthamore

- **1919–1930** – studiohen shpërndarjet e elektroneve dhe grimcave α në materiale të ndryshme \Rightarrow materies i zbulohet struktura e brendshme (bërthama).
- **1932** – *Cockcroft & Walton*: prodhojnë reaksionet e para bërthamore të kontrolluara duke përdorur grimca të përshpejtuara artificialisht.

Lindja e fizikës së akseleratorëve.

Era para akseleratorëve ($t \leq 1950$)

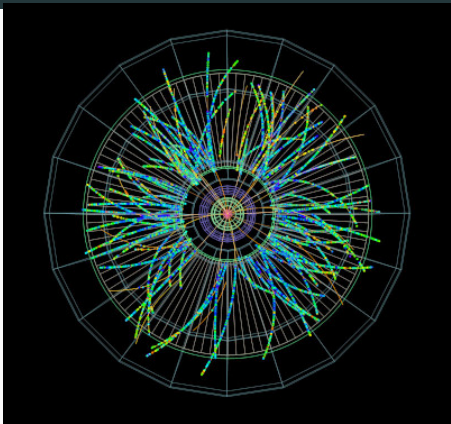


Kjo është një “cloud chamber”. Shikoni këtë [video në YouTube](#) për trajektoret e grimcave.

Në këtë periudhë zbulimet u bënë kryesisht nga rrezatimi kozmik. U zbuluan disa nga mezonet dhe leptonet kryesore:

- Leptone: e^{\pm} , μ^{\pm} .
- Mezone: π^{\pm} , K^{\pm} .
- Teknikat eksperimentale të përdorura:
 - Cloud chamber (dhoma e Wilson-it)
 - Emulsioni fotografik (nuklear)
 - Numëruesi Geiger–Müller
 - Metoda e koinçidencës (Rossi)

Era e akseleratorëve ($t > 1950$)



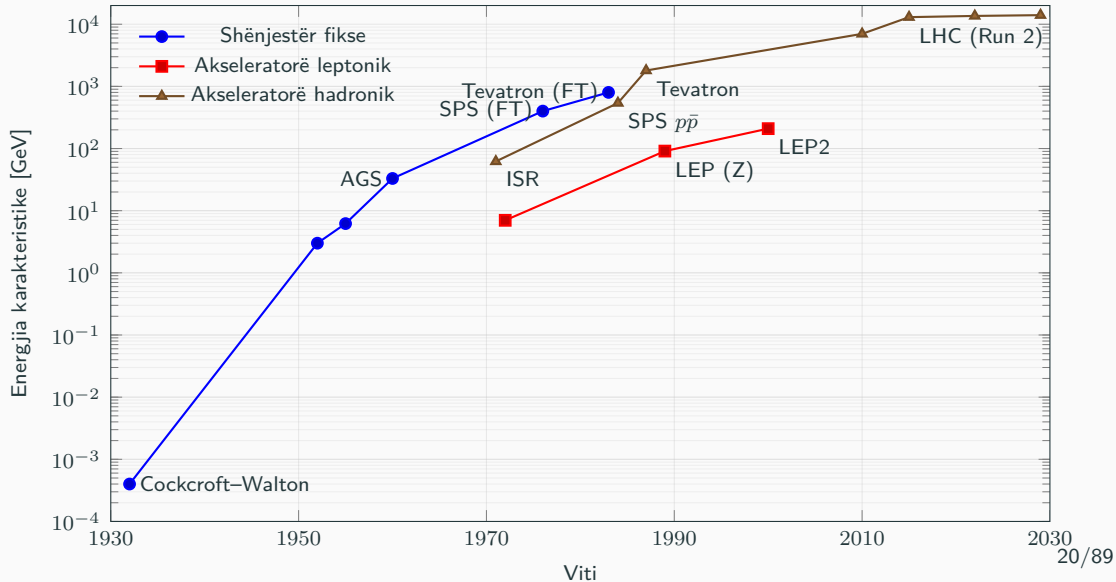
Rikonstruktimi i rrugëve që lënë grimcat në detektor.

- Zhvillimi i akseleratorëve solli një revolucion në fizikën e grimcave elementare.
- U zbulua një “kopësht zoologjik” i tërë grimcash.
- Lindi nevoja për kategorizimin e tyre dhe zhvillimin e teorive themelore.
- 1954 – themelimi i CERN-it si qendër ndërkombëtare kërkimore.
- 1970+ – akseleratorët me energji të lartë zbuluan kuarket, bozonet W, Z dhe më vonë bozonin e Higgs-it.

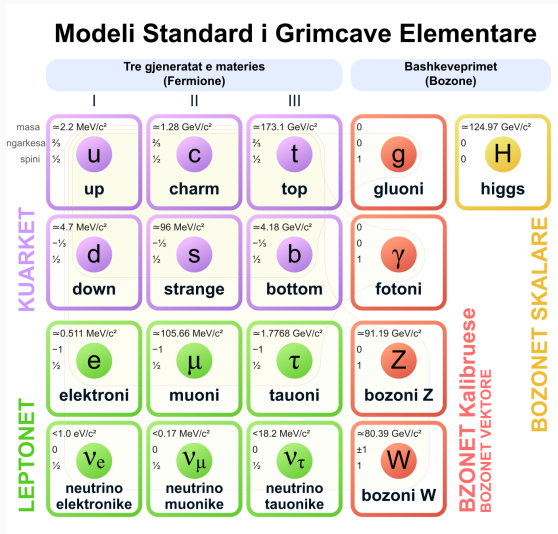
Për një listë të plotë të grimcave: [PDG Live Database](#)

Nga rrezatimi kozmik kalojmë te “fabrikat e grimcave”: laboratorë që rikrijojnë kushtet e universit të hershëm.

Evolucioni i energjive të akseleratorëve kryesorë



Kategorizimi sot i grimcave: Modeli Standart



Llojet e grimcave

- **Fushat Materiale**
 - **Leptonet**
 - **Hadronet**
 - **Mezonet** ($q\bar{q}$)
 - **Barionet** (qqq)
- **Bozonet e Fushave Kalibruese**
- **Higgs (fushë skalare)**

Bashkëveprimet Themelore

Katër Bashkëveprimet Themelore

- Fusha Elektromagnetike (kuanti fushës fotoni γ)
- Fusha e Dobët (kuantet e fushës, bozonet W^\pm dhe Z^0)
- Fusha e Fortë (kuanti fushës, gluoni g)
- Fusha Gravitacionale (nuk e dime nese kuantizohet – gravitoni)?!

Origjina e Masës së Grimcave

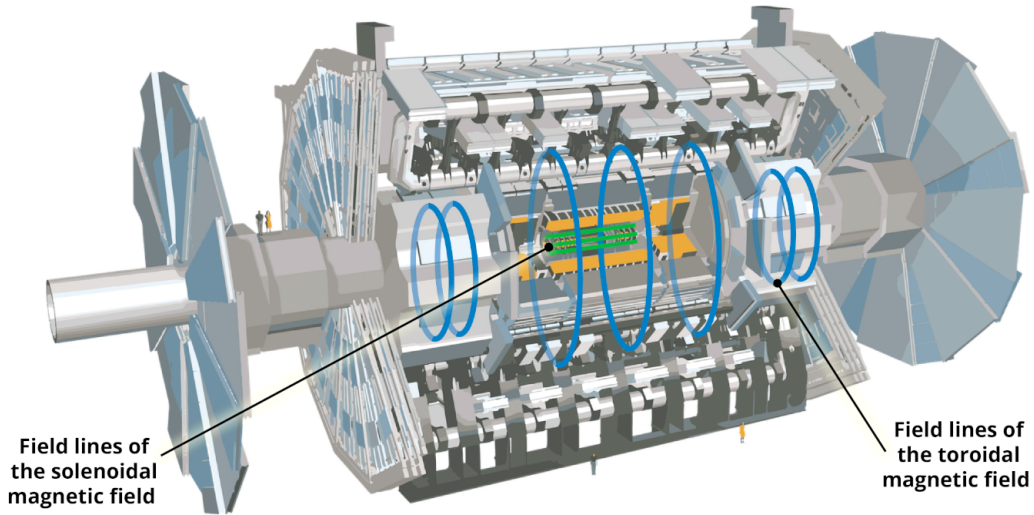
Në teorinë kuantike moderne

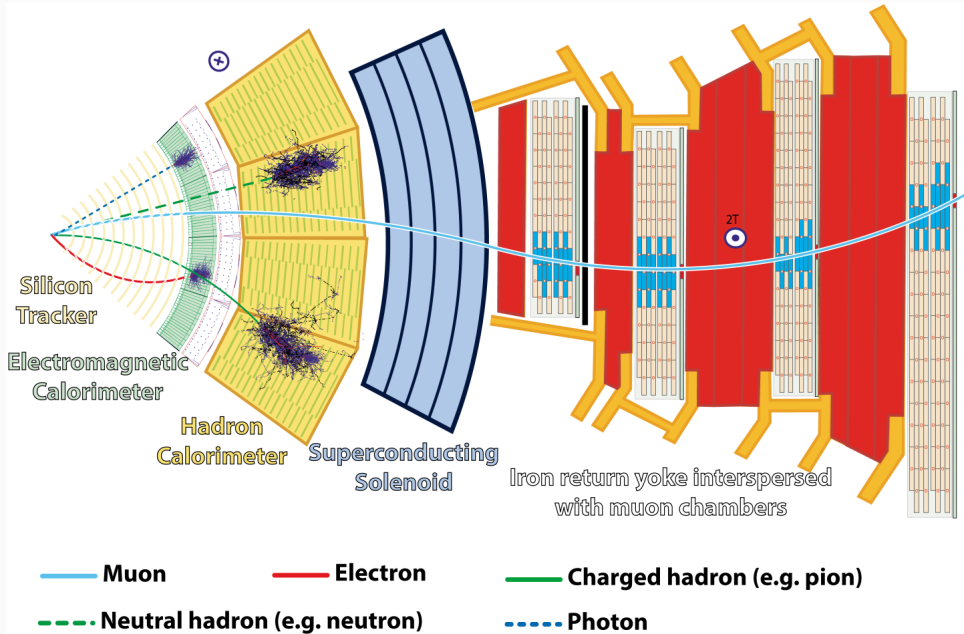
- Grimcat janë pa masë!
- Grimcat si leptonet, quarket apo bozonet e fushës, fitojnë masë nga energjia e bashkëveprimit me fushën Higgs.
- Grimca Higgs u zbulua në LHC në 2013.

Matjet në Fizikën e Grimcave

Të identifikojmë grimcat, të masim kinematikën e tyre dhe të nxjerrim vetitë e bashkëveprimit.

- **Çfarë grimcash janë?** Identifikimi i grimcave (ID: e, μ, γ, ν , etj.).
- **Si lëvizin?** Kinematika: $E, \vec{p} \Rightarrow$ 4-impulsi $p^\mu = \left(\frac{E}{c}, \vec{p}\right)$ (ose $p^\mu = (E, \vec{p})$ në njësitë natyrore).
- **Çfarë vetish kanë?** Masë, ngarkesë, jetëgjatësi (τ), spini dhe numra të tjerë kuantikë.
- **Si bashkëveprojnë?** Shkalla e prodhimit σ (seksioni i tërthortë) dhe shpërndarjet hapësinore/këndore.
- **A përputhet me teorinë?** Krahasim me parashikimet; kërkim devijimesh/sinjalesh të reja.





- **Sinjalet që prodhon detektori:** gjurmë/hite në silikon, depozitime energjie në kaloremetra, kohë-mbërritje, shenja në sistemet e muoneve.
- **Rikonstruksioni i ngjarjeve:** *identifikimi i grimcave* (elektron, muon, foton), *jete* hadronike, *neutrino* (si energji e humbur).
- **Variablat kinematike:** p_T , η , ϕ , masa invariante, kënde, energjia e humbur, etj.
- **Bashkëveprimi:** seksione efektive (σ), jetëgjatësi (τ), asimetri dhe shpërndarje këndore ($d\sigma/d\Omega$).
- **Pasiguritë:** statistikore & sistematike; kalibrimi, modelimi i background-it, efikasitetet.

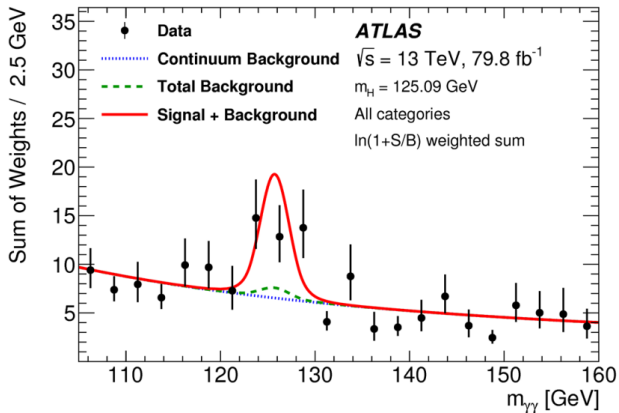
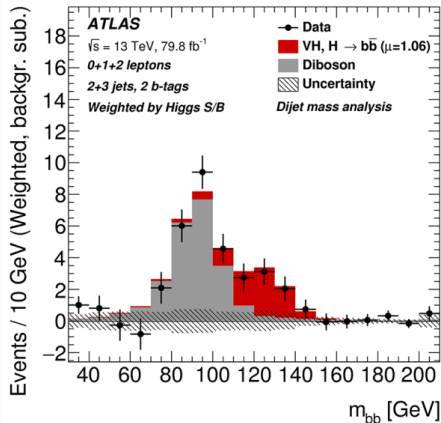
Madhësitë bazë

- **Pozicioni/rruga** \Rightarrow *tracking* (silikon/drift/MWPC).
- **Shenja e ngarkesës** \Rightarrow *tracking* + fushë magnetike.
- **Impulsi** (p, p_T) \Rightarrow kurbatura e trajektores në fushën B .
- **Energjia** $E \Rightarrow$ *ECAL* (EM), *HCAL* (HAD).
- **Koha** (ToF, timing) \Rightarrow *ToF/Tiles/LGAD*.
- **Cherenkov & scintilim** \Rightarrow *RICH*, shufra/scintilatorë.

Skema e detektorit (brenda \rightarrow jashtë)

- **Silikon (pixel/strip)**: gjurmë, vertex, b -tag.
- **ECAL**: e^\pm, γ (depozita kompakte elektromagnetike).
- **HCAL**: jets hadronike (energjia e hadroneve).
- **Sistemet e muoneve**: μ^\pm me depërtim.
- **Timing/ToF/RICH**: identifikim llojesh (PID).

Rezultatet e eksperimenteve



Për më tepër rreth Fizikës së Detektorëve

Fizika dhe ndërtimi i detektorëve është jashtë syllabusit të kësaj lënde. Gjithsesi, për çdo njeri që është i interesuar për më shumë, lexoni psh:

- Arxiv: **Physics of Particle Detection**, Grupen (1999).
- Libër: **Particle Detectors**, Second Edition, Grupen & Schwartz (2008).
- PDG Rev.: **Accelerator physics of colliders**.
- PDG Rev.: **High-energy collider parameters**.
- PDG Rev.: **Passage of particles through matter**.
- PDG Rev.: **Particle detectors at accelerators**.
- PDG Rev.: **Particle detectors for non-accelerator physics**.

Aplikimet e Fizikës së Grimcave

- **Studimet Teorike:** Modeli Standard & përtej tij, matje precize, CP-violation, materien e errët, origjina e masës së neutrinove etj.
- **Akseleratorë:** Rritje e energjisë & intensitetit (LHC/HL-LHC), neutrino beamlines, laboratorë të nëndheshëm, etj.
- **Kozmologji & Astrofizikë Grimcash:** Rrezatimi kozmik, astronomi me neutrino, valë gravitacionale, etj.
- **Teknologji Detektorësh:** silici (pixel/strip), fotodetektorë (SiPM), timing ps–ns (TOF/LGAD) & aplikime më pas në mjekësi/industri.
- **Shkenca Kompjuterike:** “Grid Computing”, Big-Data, ML/AI që transferohen në fusha të tjera.

Mjekësi

- **Diagnostikë:** PET/TOF-PET (anihilim e^+e^- , detektorë SiPM/LYSO), SPECT, CT me doza të optimizuara.
- **Terapitë me Grimca:** Terapia me protone ose jone të rënda.
- **Radiofarmaceutikë:** prodhim izotopes me ciklotron/akselerator, planifikim doze & dozimetri.
- **Sterilizim me Rrezatim:** e^-/γ për pajisje mjekësore/ushqime.

Industri & Siguri

- **Implantim Jonik** në mikroelektronikë, analizë materialesh (PIXE/RBS, XRF).
- **Burime sinkrotroni/neutroneshe:** Farmaceutikë, bateri, proteina, etj.
- **Inspektim & Siguri:** Skanime kargo, Tomography muonesh (shpella, piramida etj.)
- **Non-Destructive Testing** me rreze, monitorim korrozioni/defektesh.

Njësitë natyrore

Njësitë natyrore

Ashtu si në fizikën e grimcave, do të përdorim *njësitë natyrore* ku

$$\hbar = c = 1.$$

Quhen natyrore sepse heqin konstantet \hbar dhe c nga formulat: energjia, masa dhe impulsi shprehen në eV/GeV; koha dhe gjatësia në GeV^{-1} . Ngarkesa elementare e merret si njësi bazë për matjen e ngarkesës.

Konstantet themelore (shih CODATA)

- $e = 1.602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{ C}$
- $c = 2.997\,924\,58 \times 10^8 \text{ m/s}$
- $\hbar = 6.582\,119\,57 \times 10^{-16} \text{ eV} \cdot \text{s} = 1.054\,571\,817 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

Energjia [eV]

$$1 \text{ eV} \equiv 1.602 \times 10^{-19} \text{ J} \Rightarrow 1 \text{ J} = 6.242 \times 10^{18} \text{ eV}$$

Koha [eV⁻¹]

Duke përdorur $\hbar = 6.582 \times 10^{-16} \text{ eV} \cdot \text{s}$:

$$1 \text{ s} = \frac{1}{\hbar} \text{ eV}^{-1} \Rightarrow 1 \text{ s} = 1.52 \times 10^{15} \text{ eV}^{-1}$$

Gjatësia [eV⁻¹]

Duke përdorur $\hbar c = 1.973 \times 10^{-7} \text{ eV} \cdot \text{m}$:

$$1 \text{ m} = \frac{1}{\hbar c} \text{ eV}^{-1} \Rightarrow 1 \text{ m} = 5.07 \times 10^6 \text{ eV}^{-1}$$

Masa [eV]

Nga $E = mc^2$ dhe $c = 1$ në njësi natyrore:

$$1 \text{ kg} = 5.62 \times 10^{35} \text{ eV} \quad (= 5.62 \times 10^{26} \text{ GeV})$$

Përmbledhje (GeV si njësi e përbashkët)

Madhësia	Faktori i konvertimit	Nj. natyrore	Nj. SI
Energjia E	$1 \text{ J} = 6.24 \times 10^9 \text{ GeV}$	GeV	J
Koha T	$1 \text{ s} = 1.52 \times 10^{24} \text{ GeV}^{-1}$	GeV^{-1}	s
Gjatësia L	$1 \text{ m} = 5.07 \times 10^{15} \text{ GeV}^{-1}$	GeV^{-1}	m
Masa M	$1 \text{ kg} = 5.62 \times 10^{26} \text{ GeV}$	GeV	kg

Shënim: $1 \text{ GeV}^{-1} \simeq 1.97 \times 10^{-16} \text{ m}$ dhe $1 \text{ GeV}^{-1} \simeq 6.58 \times 10^{-25} \text{ s}$.

Ushtrimi 1

Gjeni vlerat numerike dhe gabimet (uncertainties) për konstantet:

- h dhe \hbar (Planck dhe Planck i reduktuar),
- e (ngarkesa e elektronit),
- G (konstantja gravitacionale),
- c (shpejtësia e dritës në vakum),
- ϵ_0 (përshkueshmëria elektrike e vakumit).

Ushtrimi 2

Shkruani masën, ngarkesën, spinin dhe nëse zbërthehen:

- e (elektroni), p (protoni), n (neutroni), γ (fotoni), μ (muoni), H^0 (Higgs-i).

Ushtrimi 3

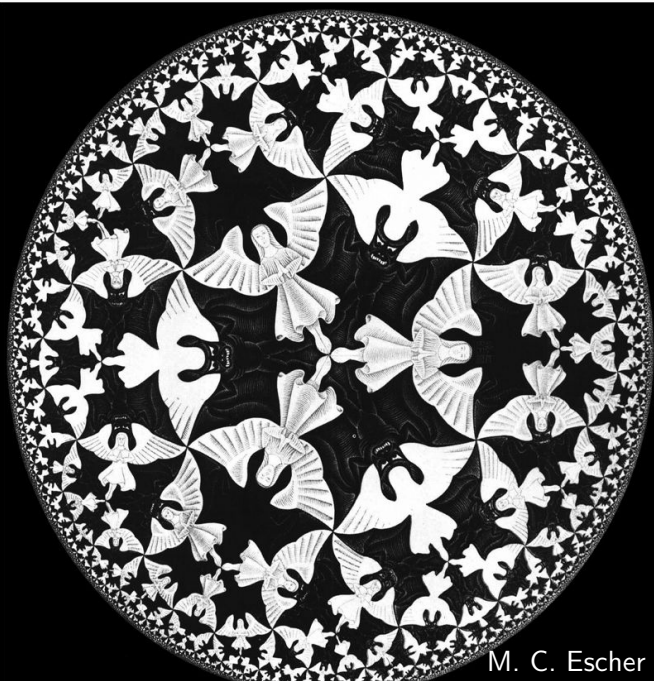
Verifikoni faktorët e konvertimit në tabelën Përmbledhje.

Transformimet, Simetritë dhe Ligjet e Ruajtjes



M. C. Escher

1. 48
11. 14



Simetritë & Transformimet

Në Fizikë

Koncepti i simetrisë është thelbësor në zgjidhjen e problemeve praktike. Ju e dini tashmë që **problemet thjeshtohen shumë kur shfrytëzojmë simetri** (p.sh. simetria sferike, cilindrike, planare, etj).

Transformimet

Simetritë lidhen ngushtë me transformimet. **Themi se një sistem ka simetri ndaj një transformimi kur ai transformim vepron mbi sistemin/objektin dhe e lë atë të pandryshuar (invariant).**

Tipet

Transformimet mund të jenë **diskrete** ose **të vazhduara** si dhe **globale** ose **lokale**.

Transformimet

Çdo veprim që mund të kryejmë mbi një objekt si zhvendosje, rrotullim apo reflektim quhet **transformim**. Të gjitha transformimet e mundshme që ruajnë disa veti të sistemit përbëjnë një strukturë matematikore të quajtur **Grup**.

Grupet

Grupi është bashkësia e transformimeve që mund të kompozohen mes tyre dhe që plotësojnë kushtet e mbylljes, shoqërimit, ekzistencës së elementit njësi dhe të inversit. Shembuj: rrotullimet në plan $SO(2)$, reflektimet në një bosht, translacionet, etj.

Grupet Lie

Në rastet kur transformimet varen nga parametra të vazhduar, grupi quhet **grup Lie**. Çdo element i tij mund të përftohet nga një gjenerator G dhe një parametër i vazhduar ϵ ,

$$U(\epsilon) = e^{i\epsilon G}.$$

Këto grupe përshkruajnë simetritë e vazhduara që lidhen me ligjet e ruajtjes.

Transformime Diskrete

Transformimet diskrete përfaqësojnë ndryshime që ndodhin vetëm në vlera të veçanta të parametrave pra jo të vazhduara. Nuk mund të përshkruhen me parametra infinitesimalë dhe formojnë **grupe të fundme**.

- Rrotullim diskret me $2\pi/N$ i një poligoni të rregullt me N kulme.
- Reflektimi hapësinor (pariteti) $P : \vec{r} \rightarrow -\vec{r}$.
- Kthimi i kohës $T : t \rightarrow -t$.
- Konjugimi (inversioni) i ngarkesës $C : q \rightarrow -q$.

Kombinime si CP , CT ose CPT janë thelbësore në fizikën e grimcave.

Transformime të Vazhduara

- Translacion në hapësirë.
- Translacion në kohë.
- Rrotullime me kënd të çfarëdoshëm, etj.

Transformime Globale

Transformimet globale janë ato që veprojnë njësoj në çdo pikë të hapësirës ose kohës. Parametri i transformimit është **i njëjtë** për të gjithë sistemin.

- Shembull: ndryshimi global i fazës $\psi \rightarrow e^{i\alpha}\psi$, ku α është konstant.
- Kjo është simetria globale e grupit $U(1)$ që çon në **ruajtjen e ngarkesës elektrike**.

Simetria globale përfaqëson të njëjtin transformim për të gjitha pikat e hapësirëkohës.

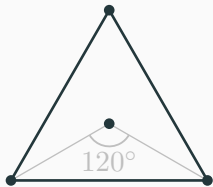
Transformime Lokale

Transformimet lokale lejojnë që parametri i transformimit të ndryshojë nga pika në pikë: $\psi(x) \rightarrow e^{i\alpha(x)}\psi(x)$. Kjo kërkon futjen e një **fushe lidhëse (gauge field)** për të ruajtur invariancën, p.sh. fusha elektromagnetike $A_\mu(x)$.

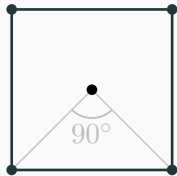
- Shembull: $U(1)_{\text{lokal}} \Rightarrow$ Elektrodinamika kuantike (QED).
- Shembuj më të përgjithshëm: $SU(2)_L$, $SU(3)_C$ në SM.

Simetritë lokale (kalibruese/gauge) janë themeli i bashkëveprimeve themelore.

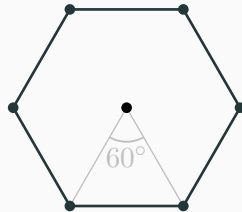
Gjeni Simetritë



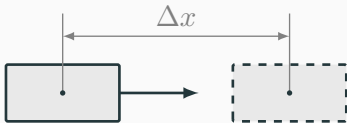
a)



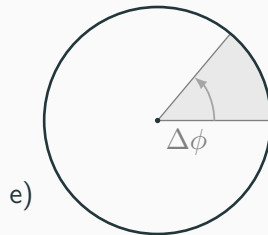
b)



c)

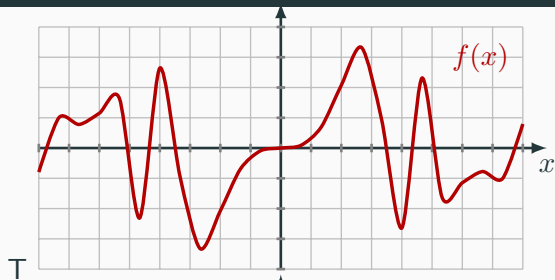


d)



e)

Çmund të thoni për simetritë e funksioneve?



Çveti ka $f(x)$?

Testoni barazinë/çiftësinë:

- $f(-x) = ?$,
- derivati: $f'(-x) = ?$,
- simetria e integralit: $\int_{-a}^{+a} f(x) dx = ?$.

Çveti ka $g(x)$?

- $g(-x) = ?$,
- $g'(-x) = ?$,
- $\int_{-a}^{+a} g(x) dx = ?$.



Teoria e Grupeve

Idetë kryesore

- Transformimet studiohen matematikisht në **Teorinë e Grupeve**.
- Grupet formalizojnë simetritë.
- Çdo grup simetrie përmban një bashkësi transformimesh që lënë objektin invariant.
- Çdo grup ka një operacion binar që vepron mbi çdo dyshe elementesh të bashkësisë.

Konsiderojmë bashkësinë $\mathcal{G} = \{a, b, c, \dots\}$ dhe operacionin \circ që plotëson aksiomat më poshtë.

Përkufizimi i Grupit

Sistemi (\mathcal{G}, \circ) është një grup atëherë dhe vetëm atëherë kur:

1. (Mbyllja) $\forall a, b \in \mathcal{G} \Rightarrow a \circ b \in \mathcal{G}$.
2. (Shoqërimi) $\forall a, b, c \in \mathcal{G} \Rightarrow a \circ (b \circ c) = (a \circ b) \circ c$.
3. (Njësia) $\exists e \in \mathcal{G}$ e tillë që $\forall a \in \mathcal{G} : e \circ a = a \circ e = a$.
4. (I kundërti) $\forall a \in \mathcal{G}, \exists a^{-1} \in \mathcal{G}$ i tillë që $a \circ a^{-1} = a^{-1} \circ a = e$.

Grupi Abelian

Grupi është *Abelian* nëse operacioni \circ është komutativ: $a \circ b = b \circ a$.

Këto janë vetitë që çdo grup, pavarësisht natyrës së tij (diskret apo i vazhduar), duhet të plotësojë.

Paraqitjet e Grupeve

Pse duhen?

Grupet janë struktura abstrakte; për ti përdorur në fizikë, i *paraqesim* si transformime lineare mbi hapësira vektoriale.

Përkufizim (Paraqitje)

Një paraqitje e grupit (\mathcal{G}, \circ) në një hapësirë vektoriale \mathbb{V} mbi fushën \mathcal{F} është një **homomorfizëm** $\rho : \mathcal{G} \rightarrow GL(\mathbb{V})$ i tillë që

$$\rho(g_1 \circ g_2) = \rho(g_1) \rho(g_2), \quad \forall g_1, g_2 \in \mathcal{G}.$$

Këtu $GL(\mathbb{V})$ është grupi linear i të gjitha automorfizmave të invertueshëm të \mathbb{V} .

Kur $\dim \mathbb{V} = n$

$GL(\mathbb{V}) \simeq GL(n, \mathcal{F})$: elementet paraqiten si matrica $n \times n$, dhe operacioni i grupit bëhet produkt matricor.

Shembull: Një paraqitje e Grupi Ciklik C_3

Le të jetë $u = e^{i2\pi/3}$ numer kompleks me $u^3 = 1$. Paraqitje 2-dimensionale e C_3 është:

$$\rho(1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \rho(u) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & u \end{bmatrix}, \quad \rho(u^2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & u^2 \end{bmatrix}.$$

Shembull: Një paraqitje e Grupi C_3 në R^3

Një paraqitje e mundëshme e C_3 në R^3 është seti i matricave të permutimit ciklik:

$$\rho(1) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \rho(u) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \rho(u^2) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Produkti i Drejtë i Dy Grupeve

Pse duhet?

Në shumë sisteme fizike veprojnë disa simetri të pavarura (p.sh. rrotullimet në hapësirë dhe izospini). Për ti përshkruar njëkohësisht, bashkojmë grupet e tyre në një strukturë të vetme **produktin e drejtë**.

Përkufizim

Jepen dy grupe (\mathcal{G}, \circ) dhe (\mathcal{H}, \bullet) . **Produkti i drejtë** $(\mathcal{G} \times \mathcal{H}, \odot)$ përkufizohet si:

1. Bashkësia $\mathcal{G} \times \mathcal{H}$ (çifte të radhitura (g, h) me $g \in \mathcal{G}$ dhe $h \in \mathcal{H}$).
2. Operacioni: $(g_1, h_1) \odot (g_2, h_2) = (g_1 \circ g_2, h_1 \bullet h_2)$.

Shembull fizik

Grupi i simetrive në Modelin Standard: $SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y$ bashkon simetritë e ngjyrës të bashkëveprimit të fortë, sidhe izospini dhe hiper-ngarkesën e bashkëveprimit elektro të dobët (electroweak int.).

Ushtrim 4

A formojnë grupe? A janë Abelianë?

- a) $(\mathbb{Z}, +)$
- b) (\mathbb{Z}, \cdot)
- c) $(\mathbb{R} \setminus \{0\}, \cdot)$
- d) (Σ, \cdot) me $\Sigma = \{I, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3\}$ dhe produkt matricor.

Vërejtje: për (d) nuk është e mbyllur sepse $\sigma_1\sigma_2 = i\sigma_3 \notin \Sigma$.

Grupi ciklik i rendit n

$\mathbb{Z}_n = \{1, a, a^2, \dots, a^{n-1}\}$ me $a^n = 1$.

- Grup i fundëm dhe Abelian.
- Shembull: rrotullimet diskrete të një poligoni me n kulme.

Grupi simetrik (permutimet) S_n

Grupi i të gjitha permutimeve të n objekteve. I fundëm dhe jo Abelian për $n \geq 3$.

Grupi Ortogonal Special $SO(n)$

Matrica reale $n \times n$ me $A^T A = I$ dhe $\det A = 1$.

Shembull: $SO(3)$

Rrotullimet 3D. P.sh. rrotullim rreth boshtit z me kënd θ :

$$R_z(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Invarianti: gjatësitë (norma e vektorit) ruhet.

Grupi Unitar $U(n)$

Bashkësia e matricave unitare $n \times n$: $U^\dagger U = U U^\dagger = I$. Për $n > 1$ është në përgjithësi jo-Abelian. $U(1)$ është Abelian (ndryshim faze $e^{i\delta}$).

Grupi Unitar Special $SU(n)$

Matrica unitare $n \times n$ me $\det U = 1$. *Lie-algebra* ka dimension $n^2 - 1$; elementet afër njësisë shkruhen si $U = \exp(iH)$ me H hermitian pa gjurmë ($\text{tr}(H) = 0$).

Ushtrim 5

Tregoni se në $SU(n)$ mund të zgjidhen gjeneratorë hermitianë me $\text{tr } H = 0$.

Ndihmë: përdorni $\det(e^A) = e^{\text{tr} A}$ dhe $\det U = 1$.

Paraqitja e $SU(2)$ dhe $SU(3)$

$SU(2)$

Lie-algebra ka **3 gjeneratorë**. Në paraqitjen standarde:

$$U(\vec{\epsilon}) = \exp\left(i \sum_{a=1}^3 \epsilon_a \sigma_a / 2\right), \quad [J_i, J_j] = i \epsilon_{ijk} J_k, \quad J_a = \sigma_a / 2.$$

Operatori i momentit këndor / spinit

$SU(2)$ është izomorf si Lie-algebra me $SO(3)$, ndaj J_a identifikohen me operatorët e momentit këndor. Në njësi natyrore, $J_a = \sigma_a/2$; për njësi fizike, vendosni \hbar .

Ushtrim 6

Jepni paraqitjen e J_a dhe $J^2 = \sum_a J_a^2$ (Casimir) për spin $j = \frac{1}{2}$ dhe $j = 1$; gjeni vektorët vetjakë.

Lie-algebra ka **8 gjeneratorë**. Një element shkruhet si

$$U(\epsilon_1, \dots, \epsilon_8) = \exp\left(i \sum_{a=1}^8 \epsilon_a \lambda_a / 2\right),$$

ku λ_a janë matricat e Gell-Mann (hermitiane, pa gjurmë).

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \lambda_2 = \begin{pmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \lambda_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \\ \lambda_4 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \lambda_5 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & 0 \\ i & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \lambda_6 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \\ \lambda_7 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -i \\ 0 & i & 0 \end{pmatrix}, \quad \lambda_8 = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -2 \end{pmatrix}.\end{aligned}$$

Konstantat e Strukturës për $SU(3)$

Duke marrë $F_a = \lambda_a/2$, kemi komutatorin

$$[F_a, F_b] = i f_{abc} F_c,$$

me koeficientë strukturorë tipikë:

$$f_{123} = 1, \quad f_{147} = f_{246} = f_{257} = f_{345} = \frac{1}{2}, \quad f_{156} = f_{367} = -\frac{1}{2}, \quad f_{458} = f_{678} = \frac{\sqrt{3}}{2}.$$

Ushtrim 7

- a) Tregoni që λ_a janë hermitiane dhe $\text{tr}(\lambda_a) = 0$.
- b) Provoni $\text{tr}(\lambda_a \lambda_b) = 2\delta_{ab}$ dhe $[F_a, F_b] = i f_{abc} F_c$.

Teorema e Noether & Ligjet e Ruajtjes

Grupet Lie

Transformimet e vazhduara si translacionet apo rrotullimet përshkruhen nga **grupet e Lie**, të cilat janë grupe të pafundme me elemente të diferencueshme në mënyrë të vazhduar. Ideja themelore e grupeve Lie është që çdo transformim i afërt me identitetin mund të shprehet si një **shndërrim infinitesimal**, i gjeneruar nga operatorë linearë.

Teorema e Noether

Këtu e paraqesim në formë joformale:

Nëse një sistem fizik është invariant ndaj një grupi Lie transformimesh, atëherë ekziston një madhësi që ruhet me kohën.

Simetri \iff Ligj ruajtjeje

Simetritë e Lagranzhianit

Simetritë fizike shfaqen në ekuacionet e lëvizjes dhe kodohen në Lagranzhianin \mathcal{L} .

- **Energjia E**

- **Transformimi:** Translacion në kohë Δt .
- **Grupi:** Poincaré.
- **Gjeneratori i grupit:** Hamiltoniani \mathcal{H} .
- **Simetria:** Homogjeniteti i kohës.
- **Ligji i ruajtjes:** Ruajtja e energjisë.

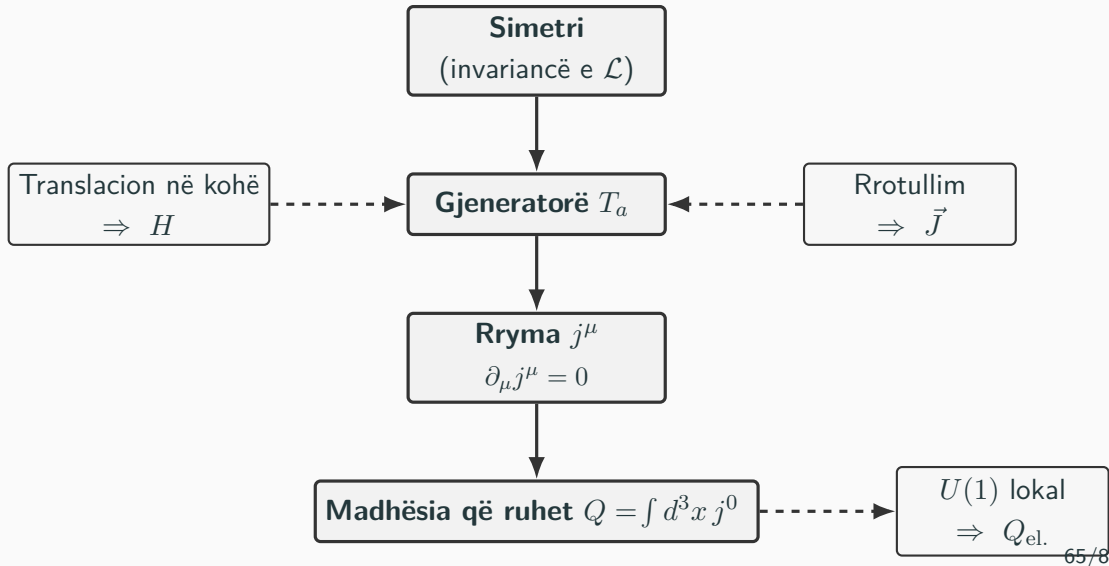
- **Impulsi \vec{p}**

- **Transformimi:** Translacion në hapësirë Δx .
- **Grupi:** Poincaré.
- **Gjeneratori i grupit:** Impulsi p .
- **Simetria:** Homogjeniteti i hapësirës.
- **Ligji i ruajtjes:** Ruajtja e impulsit.

Shembuj të tjerë

- **Momenti këndor \vec{L}**
 - **Transformimi:** Rrotullim në hapësirë me kënd $\Delta\phi$.
 - **Grupi:** $SO(3)$ (ose ekuivalent $SU(2)$).
 - **Gjeneratori i grupit:** Operatori i momentit këndor L .
 - **Simetria:** Izotropia e hapësirës.
 - **Ligji i ruajtjes:** Ruajtja e momentit këndor.
- **Ngarkesa elektrike Q**
 - **Transformimi:** Transformim lokal (kalibrim i fazës).
 - **Grupi:** $U(1)$ lokal.
 - **Gjeneratori i grupit:** Operatori i ngarkesës.
 - **Simetria:** Invarianca e fushës elektromagnetike.
 - **Ligji i ruajtjes:** Ruajtja e ngarkesës elektrike.

Teorema Noether në formë skematike



Izospini I

Izospini është një simetri afërsisht e saktë e ndërveprimit të fortë kur $m_u \simeq m_d$.

Matematikisht përshkruhet nga grupi $SU(2)$ të aromave (u, d) dhe mund të shihet si nën-simetri e $SU(3)_{\text{flavor}}$.

- (p, n) formojnë një *duple* me $I = \frac{1}{2}$: p : $I_3 = +\frac{1}{2}$, n : $I_3 = -\frac{1}{2}$.
- (π^+, π^0, π^-) formojnë një *triple* me $I = 1$: $I_3 = (+1, 0, -1)$, me masa afërsisht të barabarta.
- Në kufirin $m_u \neq m_d$ dhe me elektromagnetizmin, simetria thyhet dobët.

Nëse U është një transformim i një sistemi kuantik (zhvendosje, rrotullim, ...), ai vepron si

$$|\psi\rangle \rightarrow |\psi'\rangle = U |\psi\rangle .$$

Sipas teoremës së Wigner-it, transformimet që ruajnë probabilitetet janë **unitare** (ose anti-unitare; ne fokusohemi te unitarët). Kërkesa që norma të ruhet jep:

$$\langle\psi'|\psi'\rangle = \langle\psi| U^\dagger U |\psi\rangle = \langle\psi|\psi\rangle \quad \Rightarrow \quad \boxed{U^\dagger U = I} .$$

U^\dagger është konjugimi Hermitian (transpozim + konjugim kompleks). Pra transformimet U janë *unitare*; gjeneratorët e tyre janë *hermitianë*.

Invarianca dhe Hamiltoniani

Që parashikimet fizike të mos ndryshojnë, duhet që hapësira e zgjidhjeve të mbahet fikse:

$$\hat{H} |\psi\rangle = E |\psi\rangle, \quad \hat{H} |\psi'\rangle = E |\psi'\rangle.$$

Me $|\psi'\rangle = U |\psi\rangle$ rezulton

$$\hat{H}U |\psi\rangle = U\hat{H} |\psi\rangle \quad \Rightarrow \quad \boxed{[\hat{H}, U] = 0}.$$

Me fjalë: **çdo simetri e sistemit përfaqësohet nga një operator unitar U që komuton me Hamiltonianin.** Nëse $U = \exp(i\epsilon G)$, atëherë

$$\frac{d}{dt}\langle G \rangle = \frac{i}{\hbar} \langle [\hat{H}, G] \rangle = 0,$$

pra $\langle G \rangle$ është **madhësi e ruajtur** (kur G svaret shprehimisht nga koha).

Përshkrimi i simetrive të vazhduara

Për transformim infinitesimal me parameter të vogël ϵ :

$$U(\epsilon) = I + i\epsilon G + \mathcal{O}(\epsilon^2),$$

ku G quhet *gjenerator*. Nga unitariteti $U^\dagger U = I$ rrjedh

$$(I - i\epsilon G^\dagger)(I + i\epsilon G) = I + i\epsilon(G - G^\dagger) + \dots = I \Rightarrow \boxed{G^\dagger = G}.$$

Pra *gjeneratorët* G janë *operatorë hermitianë* (vlerat vetjake reale).

Nga $[\hat{H}, U] = 0$ me $U = I + i\epsilon G + \dots$ përftohet

$$[\hat{H}, G] = 0.$$

Si pasojë, për vlerën pritëse:

$$\frac{d}{dt}\langle G \rangle = \frac{i}{\hbar} \langle [\hat{H}, G] \rangle = 0,$$

që formalizon lidhjen *simetri* \Longleftrightarrow *madhësi e ruajtur* në formalizmin kuantik.

Transformimi i plotë shprehet si seri Taylor:

$$U(\epsilon) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(i\epsilon G)^n}{n!} = e^{i\epsilon G}.$$

Në këtë formë është e qartë që $U(\epsilon_1)U(\epsilon_2) = e^{i(\epsilon_1+\epsilon_2)G}$ kur $[G, G] = 0$, dhe shfaqen rregullat e zakonshme të komutimit për shumë gjeneratorë.

Simetri bazë: Ndryshim global i fazës ($U(1)$)

Në MQ, gjendja përshkruhet nga një funksion valor kompleks (amplitudë + fazë). Një ndryshim *global* i fazës:

$$\psi'(x) = U(\alpha)\psi(x) = e^{i\alpha}\psi(x)$$

lë probabilitetet invariante:

$$\langle \psi' | \psi' \rangle = \int \psi'^{\dagger} \psi' dx = \int \psi^{\dagger} e^{-i\alpha} e^{i\alpha} \psi dx = \langle \psi | \psi \rangle .$$

Kështu $U(\alpha) = e^{i\alpha}$ është **unitar** dhe formon grupin $U(1)$ global. (Gjeneratori hermitian është identiteti; në teori fushash, lokalizimi i $U(1)$ çon te elektromagnetizmi.)

Simetri bazë: Translacioni në hapësirë

Nga invarianca ndaj zhvendosjes pozicionale

$$\psi'(x) = \psi(x + \Delta x) = \exp\left(\Delta x \frac{\partial}{\partial x}\right) \psi(x).$$

Duke përdorur $\hat{p}_x = -i\hbar \partial_x$, kemi

$$U(\Delta x) = \exp\left(\frac{i}{\hbar} \Delta x \hat{p}_x\right),$$

pra **impulsi është gjenerator i translacioneve.**

Simetri bazë: Translacioni në kohë

Nga ekuacioni i Schrödinger-it

$$i\hbar \partial_t |\psi\rangle = \hat{H} |\psi\rangle ,$$

del që evolucioni në interval të vogël Δt jepet nga

$$U(\Delta t) = \exp\left(-\frac{i}{\hbar} \Delta t \hat{H}\right),$$

pra **Hamiltoniani është gjenerator i translacioneve kohore**. (Shenja minus varet nga konventa; këtu kemi $e^{-i\hat{H}t/\hbar}$.)

Simetri bazë: Rrotullimi në hapësirë (klasik vs kuantik)

(Klasik, mbi vektorë 3D) Rrotullimi rreth z :

$$R_z(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \simeq I + \theta A_z, \quad A_z = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Simetri bazë: Rrotullimi në hapësirë (klasik vs kuantik)

(Kuantik, mbi gjendje) operatori unitar i rrotullimit është

$$U_z(\theta) = \exp\left(-\frac{i}{\hbar} \theta \hat{J}_z\right), \quad \hat{\vec{J}} = \text{operatorët e momentit këndor}.$$

Në paraqitjen me spin 1 (vektor 3D), gjeneratorët hermitianë janë

$$\hat{J}_z = \hbar \begin{pmatrix} 0 & -i & 0 \\ i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \hat{J}_x = \hbar \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -i \\ 0 & i & 0 \end{pmatrix}, \quad \hat{J}_y = \hbar \begin{pmatrix} 0 & 0 & i \\ 0 & 0 & 0 \\ -i & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Këta përmbushin

$$[\hat{J}_i, \hat{J}_j] = i\hbar \epsilon_{ijk} \hat{J}_k,$$

algebra e $SO(3)$ (izomorfe me $SU(2)$).

Numrat Kuantike të Grimcave & Klasifikimi i Grimcave

Ngarkesa Elektrike Q

- Cdo grimce qe observohet ne natyre ka ngarkesa elektrike shumefish te ngarkeses se elektronit.
- Çdo grimce ka ngarkese $Q = 1, 2, \dots$ (ne njesi e).
- Kuarket kane ngarkese elektrike te pjeseshme $Q = \frac{1}{3}$ ose $\frac{2}{3}$, por kuarket nuk vezhgohen te lira ne eksperimente. Ato formojne ose mezone ose barione.
- **Ligji Ruajtjes:** Ne cdo proces, ngarkesa elektrike ruhet.

Spini S

- **FERMIONET** kane spin te pjeshem $S = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \dots$ (njesi \hbar).
- **BOZONET** kane spin te plote $S = 0, 1, 2, \dots$ (njesi \hbar).
- **Ligji Ruajtjes:** Shuma $\hat{\mathbf{J}} = \hat{\mathbf{L}} + \hat{\mathbf{S}}$ e momentit kendore L dhe spinit S , ruhet ne cdo process.

Perkufizim

- **Leptonet janë grimcat që nuk marrin pjesë në bashkeveprimet e forta.**
- Vezhgohen tre tipe (aroma) leptonesh:
 - e^- elektroni (dhe antigrimca e^+ pozitroni),
 - μ^- myoni (dhe antigrimca μ^+),
 - τ^- tauoni (dhe antigrimca τ^+).
- Si dhe tre tipe neutrinos (aromash):
 - ν_e neutrino elektronike (dhe antigrimca $\bar{\nu}_e$),
 - ν_μ neutrino myonike (dhe antigrimca $\bar{\nu}_\mu$),
 - ν_τ neutrino taonike (dhe antigrimca $\bar{\nu}_\tau$).

Numri Leptonik Elektronik L_e

- Vezhgohen proceset: $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$, $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$.
- Nuk vezhgohet psh. procesi: $\bar{\nu}_e + n \nrightarrow p + e^-$ apo $\nu_\mu + n \nrightarrow p + e^-$.
- Eksperimentet tregojne qe numri i e^- dhe ν_e dhe numri i e^+ dhe $\bar{\nu}_e$, ne hyrje dhe ne dalje te nje procesi, ruhet. Kjo le ne konceptin e numrit leptonik elektronik.
- $L_e = +1$ per e^- dhe ν_e dhe $L_e = -1$ per e^+ dhe $\bar{\nu}_e$.

Numrat Leptonike

Numri Leptonik Myonik L_μ

- Vezhgohen proceset: $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$, $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$, $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$, $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$, $\bar{\nu}_\mu + p \rightarrow n + \mu^+$.
- Nuk vezhgohet psh. procesi: $\mu \nrightarrow e + \gamma$, $\bar{\nu}_\mu + p \nrightarrow n + e^+$.
- Njelloj si me elektronet, eksperimentet tregojne qe numri i μ^- dhe ν_μ dhe numri i μ^+ dhe $\bar{\nu}_e$, ruhet. Kjo le ne konceptin e numrit leptonik myonik.
- $L_\mu = +1$ per μ^- dhe ν_μ dhe $L_\mu = -1$ per μ^+ dhe $\bar{\nu}_\mu$.

Numri Leptonik Taonik L_τ

Njelloj si me proceset me e apo me μ , edhe tauonet kane $L_\tau = +1$ per τ^- dhe ν_τ dhe $L_\tau = -1$ per τ^+ dhe $\bar{\nu}_\tau$.

Ushtrim 8

Zberthimet qe vihen re ne natyre jane nga grimca me te renda ne ato me te lehta. Nese nuk ka grimca me te lehta se grimca ne fjale, atehere ajo nuk mund te zberthehet dot.

- Tregoni cfare i kushtezon zberthimet e tilla? Cfare madhesish duhet te ruhen?
- Tregoni nga ana kinematike qe procesi $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ eshte i mundur ndersa $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$ eshte i ndaluar.

Ushtrim 9

π^0 eshte grimce jo stabel dhe mund te zberthet ne fotone. Kush nga proceset meposhte eshte i ndaluar dhe pse?

- $\pi^0 \rightarrow \gamma$
- $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$
- $\pi^0 \rightarrow \gamma + e^+ + e^-$
- $\pi^0 \rightarrow \gamma + \mu^+ + \mu^-$

Mezonet dhe Barionet

Numri Barionik B

- Protoni është një grimce stabel, nuk zberthehen si psh neutroni.
- Në fakt atomet (lenda dhe vete jeta) janë stabel sepse protonet nuk zberthehen.
- Çfare i mban protonet stabel kur ato kinematikisht mund të zberthen psh $p \rightarrow e + \gamma$ ose $p \rightarrow e + \nu$.
- Për të shpjeguar stabilitetin e protonit duhet që një madhësi që ruhet të pengojë zberthimin. Kjo madhësi është numri barionik.
- Barionet kanë $B = +1$ dhe antibarionet kanë $B = -1$.
Çdo grimce tjetër ka $B = 0$.
- Shembull: Protoni apo neutroni kanë $B = 1$ ndërsa antiprotoni \bar{p} apo antineutroni \bar{n} kanë $B = -1$, ndërsa e ose π kanë $B = 0$.

Ushtrim 10

A jane te lejuar proceset e meposhteme?

a) $p + p \rightarrow p + n + \pi^+$

b) $p + p \rightarrow p + \pi^+$

c) $p + p \rightarrow p + p + \pi^0$

d) $p + p \rightarrow p + \bar{p} + \pi^-$

e) $p + p \rightarrow p + p + p + \bar{p}$

Nuk Ekziston Numri Mezonik!

- p është barioni me i lehte nga grimcat dhe nuk zberthet meqe ruhet numri barionik.
- Mezonet nga ana tjetër zberthehen, psh mezoni me i lehte është pioni dhe ato zverthehen.
 - $\pi^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \nu_{\mu}(\bar{\nu}_{\mu})$ ketu pioni shnderrohet ne leptone.
 - $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ ketu pioni shnderrohet ne fotone.
 - $\Lambda \rightarrow p + \pi^{-}$ ketu pioni krijohet nga zberthimi i nje barioni.
- Si rrjedhoje nuk ekziston numri mezonik analog me ate barionik.

Çuditshmeria s (Strangeness)

- Me zbulimin e grimcave me te renda u vu re nje “fenomen i çuditshem”. Disa grimca prodhohenin shume shpejt por zberthehenin shume ngadale.
- Shembull: $K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ ose $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^-$ $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$.
- Keto grimca prodhohenin shpejt nga bashkeveprimi i forte (psh i protoneve nga rrezatimi kozmik me nje flete plumbi) dhe zberthehen ngadale nepermjet bashkeveprimit te dobet.
- Barionet me veti te çuditeshme quhen *Hiperone* (Λ, Σ, \dots).

Çuditshmeria s (Strangeness)

- $\pi^- + p \rightarrow K^+ + \Sigma^-$
 $\rightarrow K^0 + \Sigma^0$
 $\rightarrow K^0 + \Lambda$
- Meqe çuditshmeria e π , p apo n eshte $s = 0$ atehere, kaonet K kane $s = +1$ ndersa Σ dhe Λ kane $s = -1$.
- Çuditshmeria ruhet ne bashkeveprimet e forta por jo ato te dobeta, sepse psh
 - $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$
 - $\Sigma^+ \rightarrow p + \pi^0$
 - $\rightarrow n + \pi^+$

Jane zberthime si shkak i bashkeveprimeve te dobeta dhe çuditshmeria zhduket.

Izospini I

- Sic dhe kemi permendur, grimcat qe kane ngarkesa elektrike te ndryshme por sillen njelloj ndaj bashkeveprimit te forte formojne nje multiplet te izospinit.
- Shembull
 - Singlet izospini $I = 0$: Λ^0 .
 - Dublet izospini $I = \frac{1}{2}$: (n, p) , (K^-, \bar{K}^0) ose (K^+, K^0) .
 - Triplet izospini $I = 1$: (π^+, π^0, π^-) , $(\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-)$.
 - Quartet izospini $I = \frac{3}{2}$: $(\Delta^{++}, \Delta^+, \Delta^0, \Delta^-)$, etj...

Permbledhje e Numrave Kuantik

		Bashkeveprimet		
Madhesia Fizike	Simboli	EM	Dobet	Forte
Energjia (& masa)	E	+	+	+
Impulsi	p	+	+	+
Spini (Momenti Impulsit)	$S(L)$	+	+	+
Ngarkesa Elektrike	Q	+	+	+
Çiftesia	P	+	-	+
Konjugimi Ngarkeses	C	+	-	+
Izospini	I	-	-	+
Numri Leptonik	$L_{e,\mu,\tau}$	+	+	!!!
Numri Barionik	B	+	+	+
Numri Barionik	B	+	+	+
Çuditshmeria	s	+	-	+